

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ»

Кафедра линий связи и измерений в технике связи

М.В. ДАШКОВ, К.А. ВОЛКОВ

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКОГО WDM-МУЛЬТИПЛЕКСОРА**

Методические указания  
по выполнению лабораторной работы

Самара  
2016

УДК 621.39.082.5

ББК 621.391.63

Д

Рекомендовано к изданию методическим советом ПГУТИ, протокол  
№ 42 от 07.06.2016 г.

Рецензент:

доцент, кафедра систем связи ФГБОУ ВО ПГУТИ,  
к.т.н., Трошин А.В.

**Дашков, М.В., Волков, К.А.**

**Д Исследование параметров оптического WDM-мультиплексора:**  
методические указания по выполнению лабораторной работы/ М.В.  
Дашков, К.А. Волков. – Самара: ПГУТИ, 2016. – 24 с.

В учебно-методической разработке приводится систематизированный материал по технологии спектрального уплотнения. Рассмотрены технологии производства волновых мультиплексоров и их характеристики. Рассмотрены методы и средства измерения параметров волновых мультиплексоров.

Методические указания предназначены для студентов 4 курса, обучающихся по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, 12.03.03 Фотоника и оптоинформатика, и предназначены для проведения лабораторных занятий.

©, Дашков М.В., 2016

©, Волков К.А., 2016

## **Цель работы**

Изучение конструкций и технологий производств оптических волновых мультиплексоров. Изучение основных характеристик волновых мультиплексоров и методов их измерений. Исследование параметров оптического волнового мультиплексора (WDM) 1310/1550 нм.

## **Литература**

1. Иванов А.Б., Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. 1999 год.
2. Жирар А., Руководство по технологии и тестирования систем WDM. 2001 год.
3. Рекомендации МСЭ-Т. G.694.2 Спектральные сетки для применения технологий WDM: сетка длин волн технологии DWDM (06/2002).
4. Рекомендации МСЭ-Т. G.694.2 Спектральные сетки для применения технологий WDM: сетка длин волн технологии CWDM (12/2003).
5. Слепов Н.Н., Оптические мультиплексоры ввода-вывода.- Электроника: НТБ, 2001, №1, с.40-43.

## **Подготовка к работе**

1. Ознакомиться с инструкцией по технике безопасности при работе с лазерными источниками.
2. Изучить конструкции и технологии производства оптических волновых мультиплексоров.
3. Изучить основные характеристики волновых мультиплексоров и методов их измерений.
4. Исследовать параметры оптических волновых мультиплексоров (WDM) 1310/1550 нм.
5. Изучить принципы измерения затухания методом вносимого затухания.
6. Изучить техническое описание источника оптического излучения FOD 2112 и измерителя оптической мощности FOD 1204.
7. Подготовить бланки протоколов измерений.

## **Контрольные вопросы**

1. Структурная схема волоконно-оптической линии передачи (ВОЛП) с технологией спектрального уплотнения.
2. Классификация оптических волновых мультиплексоров.
3. Параметры оптических волновых мультиплексоров.
4. Методы и средства измерения параметров WDM мультиплексоров.
5. Принципы работы WDM на тонкопленочных фильтрах.

6. Принципы работы WDM на волоконные брэгговские решетки.
7. Принципы работы WDM на дифракционных решетках.
8. Принципы работы WDM на устройствах интегральной оптики.
9. Принципы работы WDM на сварных биконических разветвлениях.
10. Сетка частот систем CWDM.
11. Сетка частот систем DWDM.
12. Алгоритм измерения вносимого затухания волнового мультиплексора с помощью оптического тестера.
13. Алгоритм измерения изоляции волнового мультиплексора с помощью оптического тестера.
14. Алгоритм измерения направленности волнового мультиплексора с помощью оптического тестера.

## Техника безопасности

При выполнении лабораторных работ, связанных с использованием когерентных лазерных источников излучения, необходимо соблюдать следующие правила техники безопасности:

1. Не смотреть в выходной порт источника и на торцы коннекторов, патч-кордов или оптических адаптеров.
2. Контроль качества оптического коннектора или адаптера допускается только при отсутствии в волокне излучения.
3. Для определения активности оптического волокна рекомендуется использовать измеритель оптической мощности или специальный индикатор излучения.

**Внимание!** Излучение, используемое в телекоммуникационных системных и измерительных приборах, невозможно обнаружить визуально.



Осторожно излучение лазера

## Материалы, инструменты и оборудование для выполнения работы

1. Безворсовые салфетки



2. Спирт в дозаторе



3. Оптический патч-корд (FC/PC-FC/PC)



4. Оптический адаптер FC



5. Источник оптического излучения FOD 2112



6. Измеритель оптической мощности FOD 1024



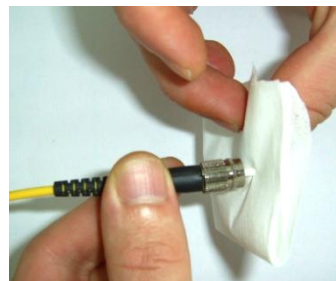
6. Оптический волновой мультиплексор WDM 1310/1550нм.



## Порядок выполнения работы

1. Для определения опорного уровня источника оптического излучения собрать схему (см. рис.1) в следующей последовательности.

1.1. Снимите защитный колпачок и протрите торец коннектора измерительного шнура (патч-корда) безворсовой салфеткой, смоченной спиртом.



1.2. Введите коннектор патчкорда в разъем источника оптического излучения FOD 2112, совмещая ключ на коннекторе с пазом в разьеме.



Внимание! Не допускайте смещения коннектора в поперечных направлениях

1.3. Зафиксируйте гайку коннектора.

Внимание! При фиксации не прилагайте усилия во избежание повреждения торцов коннекторов



1.4. Аналогично произведите подключение второго конца патч-корда к измерителю оптической мощности FOD 1204.





Рис.1. Схема для определения опорного уровня источника

1.5. Используя кнопку “Set  $\lambda$ ” на источнике и измерителе выставьте рабочую длину волны.

1.6. Используя кнопку “W/dBm” выставьте на измерителе мощности единицы измерения дБм (dBm).

2. Прогрейте источник FOD 2112 в течение 5-15 мин. При этом показания на измерителе мощности должны стабилизироваться с точностью до десятых долей дБм.

3. Снимите опорные значения уровня мощности на двух длинах волн  $P_0(1310 \text{ нм})$  и  $P_0(1550 \text{ нм})$

4. Для определения качества второго патч-корда и качества его подключения к измерителю оптической мощности соедините источник и измеритель двумя патч-кордами через адаптер.

**Внимание!** Подключение на стороне источника излучения необходимо оставлять **неизменным**.

Для этого собрать схему (см. рис. 2) в следующей последовательности:

4.2. Отключить патч-корд от измерителя мощности.

4.3. Подключить второй измерительный патч-корд к измерителю мощности.

4.4. Соединить коннекторы патч-кордов через адаптер - измерительную розетку.





5. Снять новые значения уровня мощности  $P'_0$  на двух длинах волн (1310 и 1550 нм).

Если  $P_0 - P'_0 < 0.5$  дБ, качество патч-корда и условия подключения можно считать удовлетворительными.

После определения опорного уровня удалить измерительную розетку и, не отключая коннекторы патч-кордов на сторонах источника и измерителя, подключить к измеряемому WDM мультиплексо-ру/демультиплексо-ру (см. рис. 3).

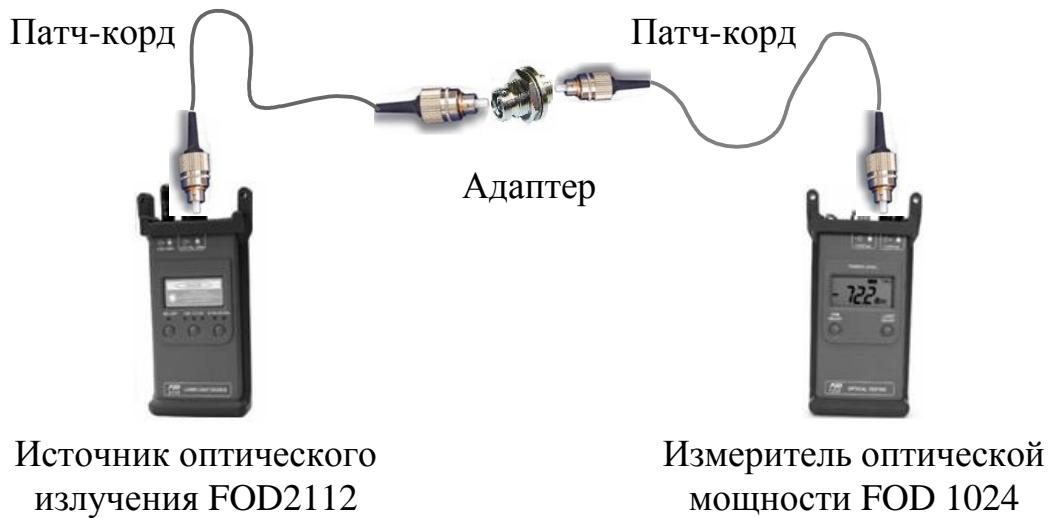


Рис.2. Схема для контроля качества второго патч-корда



Рис. 3. Схема измерения на макете

6. Измерение вносимого затухания оптического мультиплексора.
- 6.2. На источнике излучения и измерителе мощности выставьте рабочую длину волны 1310 нм.
- 6.3. Подключите патч-корд источника излучения к порту “1310 нм”, а патч-корд измерителя мощности к порту “Com”.
- 6.4. Снимите показания измерителя оптической мощности  $P_{зат}$
- 6.5. Определите вносимое затухание по формуле

$$A = P_o(1310 \text{ нм}) - P_{зат}, \text{ дБ} \quad (1)$$

Примечание. При вычислении учитывайте все знаки. Например, если  $P_o = -5$  дБм, а  $P_{зат} = -20$  дБм вносимое затухание будет рассчитываться как

$$A = -5 - (-20) = 15 \text{ дБ}$$

6.6. Произведите аналогичные измерения в обратном направлении. Для этого патч-корд источника излучения подключите к порту “Com”, патч-корд измерителя мощности к “1310 нм”.

Полученные значения запишите в табл. 1.

6.7. Аналогичным образом выполните измерения для порта “1550 нм”. При этом выставляется рабочая длина волны источника и измерителя 1550 нм, и при расчете используется значение  $P_o(1550 \text{ нм})$ . Полученные результаты запишите в табл. 1.

7. Измерение изоляции портов оптического волнового мультиплексора.

7.2. На источнике излучения и измерителе мощности выставьте рабочую длину волны 1310 нм.

7.3. Подключите патч-корд источника излучения к порту “Com”, а патч-корд измерителя мощности к порту “1550 нм”.

7.4. Снимите показания измерителя мощности  $P_{изол}$

7.5. Определите изоляцию порта “1550 нм” относительно излучения на длине волны 1310 нм

$$I = P_o(1310 \text{ нм}) - P_{изол}, \text{ дБ} \quad (2)$$

Полученное значение запишите в табл. 1.

7.6. Аналогичным образом определите изоляцию порта “1310 нм” относительно излучения на длине волны 1550 нм. Для этого на источнике излучения и измерителе мощности выставьте длину волны 1550 нм, а патч-корд измерителя мощности подключите к порту “1310 нм”.

Результаты запишите в табл. 1.

8. Измерение направленности портов оптического волнового мультиплексора.

8.2. Подключите патч-корд FC/PC – FC/APC к порту “Com”

8.3. На источнике излучения и измерителе мощности выставьте рабочую длину волны 1310 нм.

8.4. Подключите патч-корд источника излучения к порту “1310”, а патч-корд измерителя мощности к порту “1550 нм”.

8.5. Снимите показания измерителя мощности  $P_{\text{напр}}$ .

8.6. Определите направленность порта “1310 нм”

$$D = P_o(1310 \text{ нм}) - P_{\text{напр}}, \text{ дБ} \quad (3)$$

Полученное значение запишите в табл. 1.

8.7. Аналогичным образом определите направленность порта “1550 нм”. Для этого на источнике излучения и измерителе мощности выставьте длину волны 1550 нм, патч-корд источника излучения подключите к порту “1550 нм”, а патч-корд измерителя мощности к порту “1310 нм”.

Результаты запишите в табл. 1

Таблица 1. Параметры оптического волнового мультиплексора

Параметр		Значение
Вносимое затухание, дБ	1310 нм - Com	
	Com - 1310 нм	
	1550 нм - Com	
	Com - 1550 нм	
Изоляция, дБ	Com - 1550 нм (@1310 нм)	
	Com - 1310 нм (@1550 нм)	
Направленность, дБ	порт 1310 нм	
	порт 1550 нм	

9. Содержание отчета

9.2. Цель и задачи лабораторной работы.

9.3. Схема и результаты калибровки оптического тестера.

9.4. Схемы измерения параметров волнового мультиплексора.

9.5. Результаты измерения в виде таблицы.

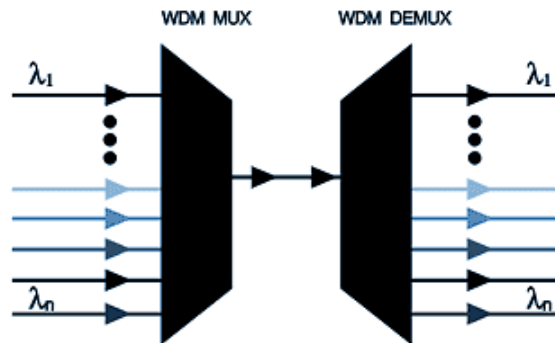
9.6. Заключение о соответствии результатов измерения паспортным значениям.

## Приложение 1.

### П1.1. Назначение волновых мультиплексов/демультиплексов

Мультиплексирование и демультиплексирование спектральных компонент отдельных сигналов в системах WDM основано на использовании комбинированных или последовательно расположенных узкополосных фильтров.

Каждый лазерный передатчик в системе WDM выдает сигнал на одной из заданных частот. Все эти сигналы (каналы) необходимо мультиплексировать (объединить друг с другом) в единый составной сигнал. Устройство, которое выполняет эту функцию, называется оптическим мультиплексором MUX (или OM). Аналогичное устройство на другом конце линии связи разделяет составной сигнал на отдельные каналы и называется оптическим демультиплексором DEMUX (или OD). В отличие от систем TDM, в которых подобные операции уплотнения каналов происходят во временной области, и основное внимание уделяется точности синхронизации приемника и передатчика, в системах WDM мультиплексированию и демультиплексированию подвергаются спектральные компоненты отдельных сигналов, характеристики которых всегда известны заранее.



#### П.1.Мультиплексор и демультиплексор

Оптическое мультиплексирование и демультиплексирование основано на комбинированных или расположенных последовательно друг за другом узкополосных фильтрах. В частности, для фильтрации применяют тонкопленочные фильтры, волоконные или объемные брэгговские дифракционные решетки, сварные биконические волоконные разветвители, фильтры на основе жидких кристаллов, устройства интегральной оптики (матрицы фазовых волноводных дифракционных решеток или фазары).

В настоящее время наибольшее распространение получили устройства оптического мультиплексирования и демультиплексирования с частотным интервалом между отдельными каналами в 100 ГГц (~0,8 нм), наиболее распространенный в существующих системах WDM. Появляющиеся в последнее время мультиплексные устройства могут обеспечить большую

плотность размещения каналов с частотным интервалом 50 ГГц и меньше. Современные оптические мультиплексоры создаются преимущественно на основе тонкопленочных фильтров и, немного реже – на матрицах волноводных дифракционных решеток и волоконных брэгговских решетках. При дальнейшем увеличении плотности размещения каналов в системах DWDM и ужесточении требований к оптическим устройствам MUX/DEMUX, по-видимому, будет меняться и спектр используемых технологий.

## П1.2. Технологии мультиплексирования

Хотя подробное обсуждение механизмов, лежащих в основе оптического мультиплексирования и демультиплексирования, выходит за рамки данной книги, мы в общих чертах опишем наиболее часто применяемые механизмы волнового разделения каналов.

### П1.2.1. Тонкопленочные фильтры

Тонкопленочный фильтр состоит из нескольких слоев прозрачного диэлектрического материала с различными показателями преломления, нанесенных последовательно друг за другом на оптическую подложку. На каждой границе раздела между слоями из-за различия их показателей преломления часть падающего светового пучка отражается обратно. Этот отраженный свет усиливает или подавляет падающий (отраженная волна интерферирует с падающей) в зависимости от длины волны. Надлежащим образом подобрав показатель преломления и толщину каждого слоя, можно получить фильтр, который будет пропускать любой заданный диапазон длин волн и отражать все остальные (рис. П.2).

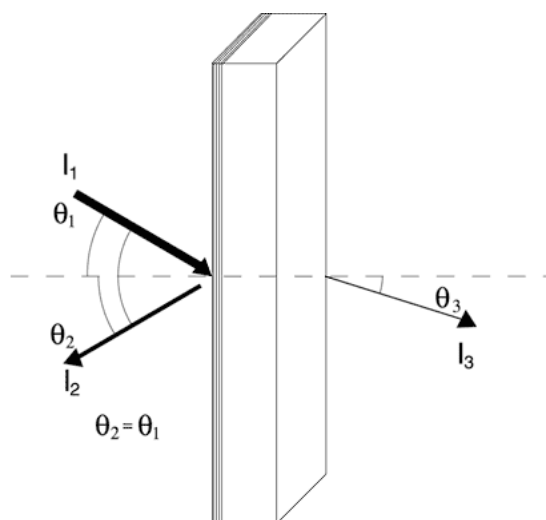


Рис. П.2.  $I_1$  – падающая волна,  $I_2$  – отраженная,  $I_3$  – прошедшая

Методы выбора параметров и техника нанесения диэлектрических слоев хорошо известны в оптической промышленности десятки лет. Выбор

диэлектрических материалов ограничен, так как многие материалы с хорошими оптическими свойствами имеют физические качества, далекие от требуемых. В общем случае, чем жестче требования к фильтру, тем большее число слоев необходимо нанести на подложку. Несмотря на имеющиеся сложности, эта технология позволяет, незначительно изменяя процесс производства, создавать недорогие фильтры с различными специальными спектральными свойствами.

В мультиплексорах и демультиплексорах используются обычно одноступенчатые тонкопленочные фильтры, каждый из которых выделяет из составного сигнала (или добавляет в него) один канал. Фильтры расположены под наклоном к оптической оси, чтобы отраженный свет не попадал обратно в систему. Наклонное расположение фильтров изменяет эффективную толщину слоев и меняет, таким образом, полосу пропускания, что необходимо учитывать при проектировании фильтров. Для обработки многоволновых сигналов используют многоступенчатые системы фильтров, в которых свет, отраженный от каждого фильтра, попадает на вход следующего фильтра, что придает исключительную важность вопросу их выравнивания (рис. П.3).

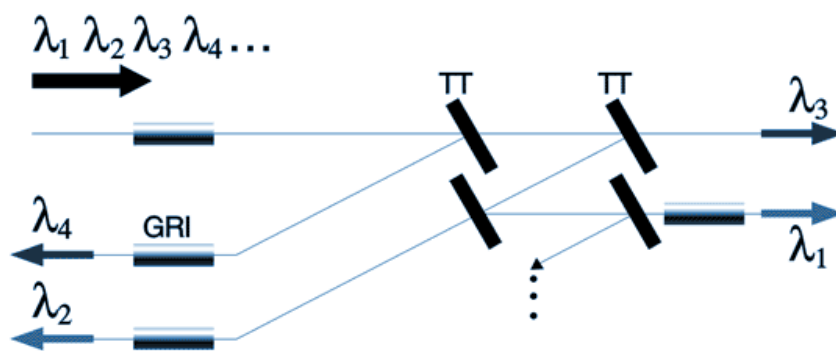


Рис. П.3. Многоступенчатая система тонкопленочных фильтров для демультиплексирования составного сигнала

Тонкопленочные фильтры имеют достаточно узкую полосу пропускания и используются в системах WDM с 16-ю или 32-мя каналами. В современных системах с более плотным расположением каналов используют другие технологии.

### П1.2.2. Волоконные брэгговские решетки

Волоконная брэгговская решетка – это, по сути, оптический интерферометр, встроенный в волокно. Волокно, легированное некоторыми веществами (обычно германием), может изменять свой показатель преломления под воздействием ультрафиолетового света. Если облучить такое волокно ультрафиолетовым излучением с определенной пространственной периодической структурой, то волокно превращается в своего рода дифракционную решетку. Другими словами, это волокно будет практически полностью отражать свет определенного, наперед заданного диапазона длин волн, и пропускать свет всех остальных длин волн.

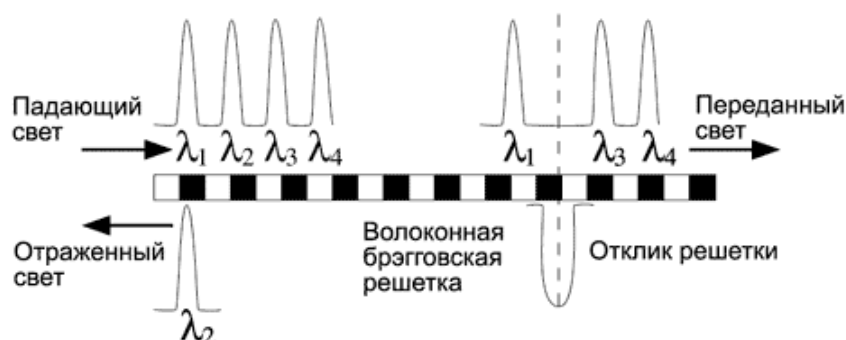


Рис.П.4. Волоконная брэгговская решетка выделяет из составного сигнала канал определенной длины волны

Если структура не вполне периодическая, и период модуляции ее показателя преломления изменяется монотонно (происходит чирпирование), то получается дифракционная решетка с линейно изменяющимся периодом. Такие решетки используются для компенсации хроматической дисперсии в волоконной линии связи или для коррекции чирпированного сигнала лазерного источника.

Центральная длина волны фильтра на основе регулярной волоконной брэгговской решетки определяется ее периодом, полоса пропускания обратно пропорциональна ее длине. Оба этих параметра зависят от температуры, поэтому такие фильтры должны быть помещены в термостат или другое устройство, контролирующее температуру.

Волоконная брэгговская решетка может использоваться как оптический фильтр в устройствах мультиплексирования и демultipлексирования, как компенсатор хроматической дисперсии, или в комбинации с циркуляторами в мультиплексорах ввода/вывода каналов (рис. П.5).

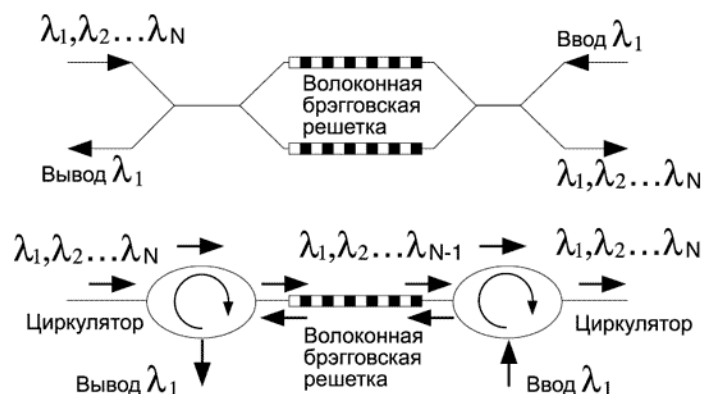


Рис. П.5. Использование волоконных брэгговских решеток в мультиплексах ввода/вывода каналов

В мультиплексах ввода/вывода каналов волоконная брэгговская решетка может использоваться вместе с двумя циркуляторами. редко используются в пассивных компонентах систем DWDM сами по себе. Со стороны порта вывода канала циркулятор выделяет отраженную волну и направляет ее в порт вывода (рис. П.5, слева). Со стороны порта ввода циркулятор добавляет в передаваемый составной сигнал один канал на той же длине волны, что была выделена (рис. П.5, справа). Такие устройства часто используются на границе между магистральным каналом и сетью городского или регионального масштаба. В магистральном канале обычно очень много длин волн, в то время как в городских или региональных сетях их намного меньше.

Волоконные брэгговские решетки в последнее время также стали использоваться в устройствах мультиплексирования и демультиплексирования вместе с интерферометрами типа Маха-Цендера и в комбинации с другими типами фильтров.

Наряду с мультиплексорами и демультиплексорами, рассмотренная технология узкополосной фильтрации оптических каналов также используется для выравнивания спектра сигнала перед усилителями EDFA, для стабилизации длины волны и в волновых стабилизаторах.

### П1.2.3. Дифракционные решетки

Наиболее распространенные в оптике обычные дифракционные решетки отражают световой пучок под разными углами в плоскости падения, причем угол, в которых отраженный свет достигает максимальной интенсивности, зависит от длины волны. В дифракционных решетках используется тот же физический принцип, что и в тонкопленочных фильтрах – подавление или усиление света за счет интерференции падающих и отраженных волн (рис. П.6).



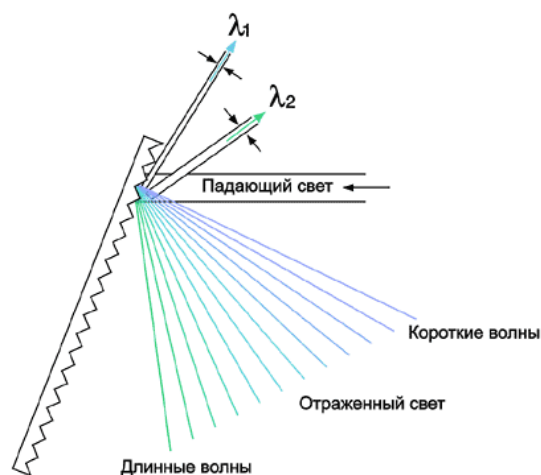


Рис. П.6. Отражение составного сигнала дифракционной решеткой

Представим, что в падающем свете присутствует излучение разных длин волн. Можно выбрать угол падения таким образом, что волны определенной длины при отражении от отдельных линий решетки будут отличаться по фазе друг от друга ровно на одну длину волны. В этом случае все отраженные волны будут усиливать друг друга. Такой угол будет углом максимального пропускания для заданной длины волны падающего света.

В устройствах мультиплексирования и демультиплексирования дифракционные решетки располагаются на пути света таким образом, чтобы сигнал нужной длины волны мог быть выделен из составного сигнала или добавлен в него. Хотя устройства на основе дифракционных решеток дороги и сложны в производстве, вносимые ими потери практически не зависят от числа каналов, что делает эту технологию одной из наиболее привлекательных для использования в системах с большим числом каналов. Однако при этом требуется тщательно контролировать поляризацию падающего оптического излучения.

#### П1.2.4. Устройства интегральной оптики

Интегральные оптические устройства мультиплексирования и демультиплексирования – это оптический эквивалент интегральных схем в электронике. Оптические волноводы в несколько слоев помещаются на подложку из кремния или ниобата лития. В таком небольшом блоке содержится множество оптических компонентов, взаимосвязанных друг с другом. При использовании современного полностью автоматизированного оборудования возможно массовое производство таких блоков.

Интегральная оптика – относительно новая технология. Для того чтобы полностью использовать ее потенциал, требуются дальнейшие научные исследования и конструкторские разработки. В настоящее время интегральная оптика используется при производстве оптических разветвителей, коммутаторов, модуляторов, эрбиевых и легированных различными

редкоземельными элементами волноводных усилителей, брэгговских решеток и других компонентов систем DWDM.

Интегральная оптика успешно применяется для создания решеток на основе массива планарных волноводов (более 100) различной длины между двумя планарными линзами смесителями AWG (Arrayed Waveguide Gratings), рис. П.7.

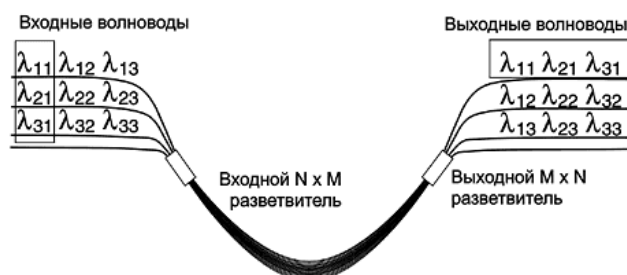


Рис. П.7. Решетка на основе массива волноводов AWG – принцип работы

Входной сигнал, который содержит излучение разных длин волн, попадает во входной разветвитель. Там он расщепляется на N оптических лучей, каждый из которых попадает в отдельный волноводный канал. Все N волноводных каналов, образующих волноводную матрицу, имеют разную длину и вносят в сигнал разные фазовые сдвиги, зависящие от длины волны. После этого световые пучки из отдельных волноводных каналов вновь объединяются в выходном разветвителе и интерферируют таким образом, что излучение разных длин волн попадает в разные выходные волноводы.

Решетки на основе массива волноводов AWG используются для того, чтобы перераспределять сигналы различных длин волн (каналы) между двумя наборами волокон (рис. П.7) или выделить (демультиплексировать) отдельные каналы составного сигнала в отдельные волокна. Эта технология сейчас становится основной для производителей мультиплексоров и демультиплексоров систем DWDM. Благодаря легко масштабируемой структуре, она может широко применяться в системах с сотнями каналов.

Решетки AWG еще также называют “драконовыми маршрутизаторами” (Dragon Routers), фазовыми матрицами или фазарами.

### П1.2.5. Сварные биконические разветвители

Простейший биконический разветвитель FBT (Fused Biconic Tapered) представляет собой пару одномодовых оптических волокон, на определенном участке сваренных друг с другом по длине. Основная мода волокна, которая распространяется по сердцевине одного из оптических волокон, при прохождении области сварки преобразуется в моды оболочки. Когда волокна снова разделяются, моды оболочки снова преобразуются в моды

волокна, распространяющиеся по сердцевине каждого из выходных волокон. В результате получается разветвитель, практически не вносящий потерь. Выходные сигналы не обязательно имеют равную мощность, соотношение их мощностей определяется интерференцией в области сварки волокон и зависит от длины этой области.

Если два таких разветвителя расположены последовательно (рис. 2.18), и два рукава имеют разные оптические пути между местами сварки, то такая комбинация действует подобно интерферометру Маха-Цендера. Мощность входного сигнала распределяется между выходными волноводами в зависимости от длины волны с определенной периодичностью. Если составной входной сигнал содержит оптические каналы двух различных длин волн, то при определенном подборе параметров эти каналы на выходе окажутся в разных выходных волокнах. Второе входное волокно не используется.



Рис. П.8. Входной сигнал распределяется между двумя выходами

Если на вход поступает составной сигнал, который содержит большое количество каналов на разных частотах (с одинаковыми расстояниями между ними), на выходе в каждом волокне будет по половине каналов с расстоянием между частотами в два раза больше. Используя последовательно несколько разветвителей, можно вывести каждый канал в отдельное волокно.

Массивы таких устройств, отдельные секции которых иногда заменены брэгговскими решетками, используются для выделения каналов определенной частоты из многоканальных систем WDM и DWDM или для добавления каналов в каком-либо узле оптической сети. Поскольку они являются полностью пассивными устройствами и имеют низкие потери, допустимо применение достаточно больших наборов таких устройств.

### П.3. Основные параметры оптических мультиплексоров

**Вносимые потери** характеризуют степень затухания оптического сигнала при мультиплексировании или демультиплексировании и в общем виде определяется формулой

$$a_{\lambda} = 10 \log_{10} \left( \frac{P_{вх}(\lambda)}{P_{вых}(\lambda)} \right), \text{ дБ}$$

где  $P_{вх}, P_{вых}$  - мощность в Вт на длине волны  $\lambda$  на входе и выходе компонента, соответственно.

Если мощность сигнала измерена в дБм, то вносимое затухание записывается в виде

$$a_{\lambda} = P_{вх}(\lambda) - P_{вых}(\lambda),$$

где  $P_{вх}, P_{вых}$  - мощность в дБм на входе и выходе компонента, соответственно.

Для волновых мультиплексоров/демультиплексоров вносимое затухание измеряется для каждого канала.

Следует отметить, что для полного описания вносимого затухания компонент оборудования спектрального уплотнения (DWDM) требуется зависимость потерь от длины волны.

#### **Изоляция (вносимое затухание между каналами)**

При демультиплексировании группового оптического сигнала излучение с рабочей длиной волны  $\lambda_i$  должно с минимальным затуханием поступать в  $i$ -й канал и отсутствовать во всех других каналах. Однако в реальных устройствах часть излучения на этой длине волны будет проникать в другие спектральные каналы, создавая помехи полезному сигналу. В общем случае изоляция канала и перекрестные помехи определяют уровень ослабления сигнала данного канала в других каналах, где этот сигнал не является основным.

Изоляция определяется как минимальная величина затухания сигнала на рабочей длине волны с выборкой по всем неосновным выходным каналам по отношению к основному входному каналу.

Для  $i$ -го канала демультиплексора с центральной длиной волны  $\lambda_i$  изоляцию можно определить по формуле:

$$I_i(\lambda_i) = \min_{j \neq i} \left\{ 10 \log_{10} \left( \frac{P_{вх,общ}(\lambda_i)}{P_{вых,j}(\lambda_i)} \right) \right\},$$

где  $P_{вх,общ}(\lambda_i)$  - мощность в Вт на рабочей длине волны  $\lambda_i$ , поступающая на вход демультиплексора;  $P_{вых,j}(\lambda_i)$  - мощность в Вт на длине волны  $\lambda_i$ , присутствующая в  $j$ -ом канале.

Для многоканальных устройств вводится также параметр перекрестные помехи, определяющие совокупное действие влияющих каналов на рассматриваемый канал.

$$C_i(\lambda_i) = 10 \log_{10} \left( \frac{P_{\text{вх,общ}}(\lambda_i)}{\sum_{j \neq i} P_{\text{вых},j}(\lambda_i)} \right)$$

**Направленность** мультиплексора характеризует взаимную изоляцию входных портов и для  $i$ -го канала определяется как минимальное затухание сигнала на длине волны  $\lambda_i$ , проникающего в другие каналы.

Направленность по отношению к  $i$ -ому входному порту определяется соотношением:

$$I(\lambda_i) = \min_{j \neq i} \left\{ 10 \log_{10} \left( \frac{P_{\text{вх},i}(\lambda_i)}{P_{\text{вых},j}(\lambda_i)} \right) \right\}$$

где  $P_{\text{вх},i}(\lambda_i)$  – мощность сигнала  $i$ -го канала, поступающего на  $i$ -й входной порт;  $P_{\text{вых},j}(\lambda_i)$  – мощность сигнала на длине волны  $\lambda_i$ , выходящего через  $j$ -й входной порт.

При измерении направленности необходимо обеспечить отсутствие отражений от выходной части устройства. В противном случае, отражения на концах волокон могут исказить результаты измерений.

**Полоса пропускания канала** - это диапазон длин волн, в котором данный порт мультиплексора имеет низкие потери и для которого определены вариации центральной длины волн используемого лазера. Полоса пропускания определяется шириной спектра сигнала и интервалом между каналами.

**Отклонение полосы пропускания** - это параметр, который представляет собой наибольшую пиковую вариацию потерь вставки в полосе пропускания канала.

**Допустимое отклонение центральной длины волны.** Вследствие того, что оптический спектр каждого порта мультиплексора обычно смещается относительно идеальной центральной длины волны для каждого канала лазера, данный параметр определяет максимально допустимую вариации. Допустимое отклонение центральной длины волны обычно должно быть на порядок меньше ширины полос пропускания каналов.

**Интервал между каналами** представляет собой расстояние между центральными длинами волн соседних оптических каналов.

***Потери, зависящие от поляризации.*** Вследствие того, что спектральное функционирование каждого порта мультиплексора зависит от входного состояния поляризации, которое необходимо в лазерных системах передачи, это значение потерь имеет самую большую вариацию в пределах полосы пропускания каждого порта мультиплексора.

***Температурная стабильность длины волны*** - стабильность центральной длины волны определяет ее максимальное изменение применительно к каждому порту в пределах предполагаемого диапазона рабочих температур.

***Температурная стабильность*** - это параметр, который представляет собой максимальную вариацию вносимых потерь при изменении рабочей температуры в пределах полосы пропускания каждого порта.

**Приложение 2. Паспортные характеристики оптического волнового мультиплексора WDM 1310/1550нм**

Рабочие длины волн	1310/1550±15 нм	
Параметры	Вносимые потери, дБ	Изоляция, дБ
Порт 3 - Порт 1	0,16	25
Порт 3 - Порт 2	0,14	28
Затухание отражения, дБ	>55	
Направленность, дБ	>55	
Техническая эксплуатация, °С	-20 ... +70	
Температура хранения, °С	-40 ... + 85	